

Gabona betakarítás modellezése szimulációval

Dr. Benkő János, egyetemi tanár

SZIE GTK, Regionális Gazdaságtani és Vidékfejlesztési Intézet, 2100 Gödöllő, Páter K. u.1.

Benkő János

Okleveles mezőgazdasági gépészmérnök (GATE, 1973), a közgazdaságtudomány kandidátusa, egyetemi tanár, a SZIE Gazdaságtudományi Kar Logisztikai menedzsment mesterképzési szakának vezetője. Az anyagmozgatás és a logisztika területén több mint 35 éve végez oktató- és kutatómunkát. Főbb szakterületei: anyagmozgató gépek tervezésének elméleti problémái, logisztikai folyamatok matematikai modellezése és szimulációja. Számos cikk, szoftver, egyetemi jegyzet és könyv szerzője. Több, az említett területeken működő bizottság és testület tagja. E-mail: benko.janos@gtk.szie.hu

Abstract: A mezőgazdasági termelés sajátosságai miatt a betakarítógépek, mint erőforrások az ipari termelés erőforrásaitól eltérően működnek. Az iparban a gyártási rendszerek erőforrásai helyhez kötöttek, amelyekhez munkálásra váró anyagokat, munkadarabokat mozgatunk. A növénytermesztésben viszont fordítva, a mobilitással rendelkező gépeket mozgatjuk a munkatárgyat képező a földhöz, illetve az azon termesztett növényekhez. A betakarítási folyamatok további sajátossága, hogy a betakarított terményt a szántóföldről azonnal el kell szállítani. Ennek megfelelően a szimulációban a betakarítás és az azt kiszolgáló szállítás nem választható szét, már csak azért sem, mert gyakran a szimuláció egyik célja a betakarítógép és az azt kiszolgáló szállítójárművek működési összhangjának megteremtése. A tanulmány a gabona betakarítás és szállítás szimulációs modelljét, a modullogika felépítését, működését és a szimuláció futásának várható eredményeit mutatja be.

Kulcsszavak: szimulációs modell, gabona betakarítás, gabonaszállítás, gépkihasználás

1. Bevezetés

A gabona betakarítás vezérgépe az aratócséplőgép vagy gabonakombájn, amit elsősorban kalászos gabonafélék (búza, árpa, rozs, triticales, stb.) betakarítására használnak, de megfelelő adapterrel felszerelve és átalakítva alkalmas más szemes termények (kukorica, napraforgó, repce, hüvelyesek és apró magvak) betakarítására is. Az említett körbe tartozó növényeket az összes szántóterület 70-80%-án termesztik, aminek köszönhetően a gabonakombájn a leggyakrabban alkalmazott magajáró betakarítógép.

Egymenetes betakarításkor az aratócséplőgép a lábon álló terményt levágja, a szemet kicsépeleli, megtisztítja és tartályba gyűjti. A szalmát és egyéb mellékterméket pedig rendre, illetve kupacba a tarlóra üríti, esetleg speciális adapterrel feldolgozva begyűjthetővé teszi, vagy a táblán szétteríti. Az aratócséplőgép a magtartályában gyűjtött szemet, a tartály telítődésekor szállítójárműre (tehergépkocsira vagy traktoros pótkocsira) üríti, amely a gabonát a feldolgozás helyére, vagy közvetlen értékesítéskor a terményátvevő telepre szállítja.

2. A betakarítógépek üzemeltetési problémái és a szimuláció.

Közismert, hogy a betakarítógépek teljesítőképességének és munkaidejének a kihasználatlanságból adódó veszteségek a gép elméleti teljesítőképességével arányosan növekszenek. A nagyteljesítményű gépek alkalmazása ezért egyre nagyobb szakértelmet, üzemeltetésük pedig egyre több odafigyelést kíván.

Számos felmérés és vizsgálat bizonyította és bizonyítja, hogy a betakarítógépek produktívidőre számított tömegteljesítménye lényegesen kisebb, mint amit az áteresztőképességük¹ alapján elvárnánk. Ennek sokféle oka van, azonban alapvetően két tényezőre, a teljesítőképesség és a munkaidő nem megfelelő kihasználására vezethető vissza. A tapasztalat szerint a betakarítógépek csupán a munkaidő felét töltik betakarítással (alapidő), és a munkaidő másik fele kiegészítő műveletek végzésére (mellékidők, műszaki kiszolgálás, stb.) fordítódik vagy elvész (*Jován D.*

¹ Az áteresztőképesség azt a legnagyobb gépterhelést (1 másodperc alatt a gépen áthaladó szem+szalma mennyiséget) jelenti, amelynél a cséplőrész szemvesztése nem haladja meg a nemzetközileg elfogadott 1,5 %-os értéket.

at all, 1980). A teljesítőképesség és a munkaidő jobb kihasználása egyrészt műszaki, másrészt munkaszervezési feladat.

A betakarítógépek **alapidőre számított teljesítőképessége** alapvetően a **gépterheléstől** függ, ami a következő formulával számítható

$$q = B \cdot v \cdot M \quad (\text{kg/s}),$$

ahol: B a munkaszélesség (m), v a haladási sebesség (m/s), M az egységnyi területre eső főtermény+melléktermék hozam (kg/m^2). A jó teljesítmény kihasználás érdekében arra kell törekedni, hogy gépterhelés közelítse az áteresztőképesség értékét. A várható átlagos terméshozamhoz ezért a betakarítógépet úgy kell megválasztani, hogy a kiválasztott gép munkaszélessége és sebességtartománya tegye lehetővé az áteresztőképesség maximális kihasználását. A betakarítógép megengedett haladási sebessége alapvetően a gép konstrukciós adottságaitól függ, de a terepviszonyok és a termény állapota is befolyásolhatják.

A gép kiválasztása után a szabályozás mozgástere kicsi, csak a haladási sebességet változtathatjuk, mivel a munkaszélesség általában állandó. A termőhelyenként, de gyakran azon belül is változó terményhozamot pedig nem áll módunkban befolyásolni.

A megfelelő sebesség megválasztását sokszor a gépterheléssel arányos jellemzőket mérő eszközök segítik. Az aratócséplőgépeknél ilyen a szemvesztesség jelző. Más gépeknél vagy műszer hiányában azonban általában csak a gépkezelő tapasztalatára hagyatkozhatunk, ami nem lebecsülendő, de talán nem ártana olyan üzemeltetési táblázatokat vagy diagramokat közre adni, amelyek a terméshozam függvényében tájékoztatnak az optimális haladási sebességről. Ilyen tájékoztató adatok a bemeneti paraméterek változtatásával szimulációs modellezéssel állíthatók elő.

A betakarítógépek **munkaidő kihasználását** lényegesen befolyásolják az **állásidők**, amelyek egyrészt a meghibásodások okozta időkiesésre, másrészt a ciklikusan működő, kiszolgáló szállítóeszközök számának és kapacitásának a helytelen megválasztására vezethetők vissza.

Durva közelítéssel a **szükséges járműszám** a következő módon számítható. A szállítóeszközök szállítóképessége:

$$Q = \frac{m}{t_{r1} + t_{r2} + t_m} = \frac{m}{t_{r1} + t_{r2} + \frac{2s}{v_j}} \quad (\text{kg/s}),$$

ahol: m a szállítójármű teherbírása (kg), t_{r1} a megrakási idő (s), t_{r2} az ürítési idő (s), s a szállítás távolsága (m), v_j a szállítójármű átlagos sebessége (m/s).

A gépterhelésből az egységnyi idő alatt betakarított főtermék mennyiség:

$$q_f = \frac{q}{1 + 1/c} \quad (\text{kg/s}),$$

ahol c a fő- és melléktermék aránya. A szükséges járművek száma:

$$n = \frac{q_f}{Q} \quad (\text{db}).$$

Nagyvalószínűséggel ez a számítás túlméretezést eredményez, mivel a produktívidőre eső, de még inkább a teljes munkaidőre eső gépterhelés lényegesen kisebb, mint az alapidőre számított.

A pontosabb számítás nehézségét az okozza, hogy a mellékidők (fordulási idő, ürítési idő, stb.), illetve ezek jelentkezésének gyakoriságai egzakt módon nem adhatók meg. Például a táblavégi fordulások gyakoriságát befolyásolja a tábla hossza, az ürítések gyakoriságát és helyét a termésátlag, a betakarítógép gyűjtőtartályának mérete és a szállítójárművek kapacitása. Nehezen

becsülhetők előre a gyűjtőtartály ürítésének helyei, és így a betakarítógépet közelítő szállítójármű által a táblán megtett út hossza. A gyűjtőtartály telítődésének helyei és időpontjai ugyanis függenek a terméshozamtól, annak változékonyságától, a táblahosszától, stb. A szükséges járműszám precíz számítása klasszikus módszerekkel ezért reménytelennek látszik. Szimulációs modellezéssel, azonban a folyamatot befolyásoló különféle tényezők hatása figyelembe vehető anélkül, hogy e tényezők közötti egzakt belső összefüggéseket ismernénk.

3. Az egymenetes gabona betakarítás modellezése

3.1. A modellezett folyamat leírása és a modellezés célja

Tekintsünk egy gabonafélék betakarítására alkalmas aratócséplőgépet, és a hozzákapcsolódó tetszőleges számú és kapacitású szállítójárműből álló flottát, amelyek a betakarított gabonát ismert távolságban elhelyezkedő tárolóba szállítják. Továbbá tekintsük azt az ismert méretű és hozamú termőterületet (táblát), ahol az aratócséplőgép működik. A modellezett aratócséplőgép kalászos gabonafélék, megfelelő adapterrel felszerelve más szemes termények (kukorica, napraforgó, repce, hüvelyesek és apró magvak) betakarítására egyaránt használható.

A rendszer működésével kapcsolatban a következő feltevéseket tesszük:

- (1) Az aratócséplőgép mindig a maximális áteresztőképességének (q_{\max}) megfelelő teljesítménnyel működik, amit úgy érünk el, hogy a gép sebességét (v) változtatjuk.
- (2) A táblán mindig van elegendő gabona, azaz az aratócséplőgép anyagihiány miatt soha nem áll le.
- (3) Az aratócséplőgép működését véletlenszerű meghibásodások zavarhatják meg, amelyek bármilyen időpontban jelentkezhetnek. A meghibásodások közötti idők általában exponenciális eloszlásúak, a javítási időközök normális eloszlásúak, de ezektől eltérő eloszlásokat is használhatunk.
- (4) A magtartály tartalmának járműre ürítése menetközben vagy álló helyzetben történhet.
- (5) Az aratócséplőgép akkor üríthető, ha a magtartály tartalma eléri az üríthető mennyiséget. Az üríthető mennyiség, ha a
$$\text{Tehergépkocsi kapacitás} > \text{Tartály kapacitás},$$
akkor az
$$\text{Üríthető mennyiség} = 0,9 \cdot \text{Tartály kapacitás},$$
különben az
$$\text{Üríthető mennyiség} = \text{Tehergépkocsi kapacitás}.$$
- (6) Az ürítési és a fordulási idő lehet állandó vagy változó értékű.
- (7) Az aratócséplőgép akkor blokkolódik, ha megtelik a magtartály, a táblavégén fordul, álló helyzetben ürít vagy meghibásodik.
- (8) A szállítójárműveket az aratócséplőgép ciklikusan veszi igénybe. A következő járművet csak akkor igényli, ha az éppen aktív jármű teljes feltöltése befejeződött.
- (9) A szállítójárműveket mindig a maximális szállítókapacitásukra töltjük fel, azaz csak telített jármű hagyhatja el a táblát.
- (10) Az egyszerűség kedvéért a táblahosszúságát állandónak tekintjük.
- (11) A terméshozam a táblán belül lehet állandó vagy változó nagyságú.

A modellezéshez a John Deere 9780 CTS típusú aratócséplőgép adatait használjuk, amelynek

főbb jellemzői: hagyományos cséplőszerkezet, szalmaleválasztás a menetiránnyal párhuzamosan elhelyezett, ujjakkal ellátott 2 db leválasztó dobbal, hidrosztatikus összerékhajtású járószerkezet. A gép névleges áteresztőképessége $M_m=7$ t/ha hozamú, 9,2 % nedvességtartalmú, $c=1,28$ szem-szalma arányú búzatermékben $q_{\max}=18,7$ kg/s (Komlódi I., 2001).

A modellben a magtartály ürítése menetközben történik, a tábla hosszúsága 500 m. A termés-átlag 7 t/ha, a szem-szalma arány 1,28.

A szemtermés elszállítására 12 t teherbírású szállítójárműveket használunk. A járművek átlagos sebessége közúton 50 km/h, a táblán 10 km/h. A tábla és a raktár közötti szállítási távolság 30 km. A táblán megtett út a betakarítógép helyzetétől függően változó. A járművek a tábla szélén várakoznak. A betakarítás változtatható input adatait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

A modell input változóinak és paramétereinek

Leírás	Változó neve	Mértékegység	Adatérték
Aratócséplőgép adatok			
Áteresztőképesség	Áteresztőkepesseg	kg/s	18,7
A vágószerkezet típusa (0-vágóasztalos, 1-soros)	Tipus		0
Vágóasztal szélessége	Vagasszelesseg	m	7,6
Sortávolság	Sortavolsag	cm	
Sorok száma	Sorok szama		
A gyűjtőtartály (puttony) kapacitása	Tartaly kapacitas	t	8
Üritési kapacitás	Uritesi kapacitas	t/min	4
Üritési mód (0-menetközben, 1-állól helyzetben)	Uritesi mod		0
Fordulási idő a tábla végén	Fordulasi ido	min	2
Tábla adatok			
Tábla hossza	Tabla hossza	m	500
Termésátlag	Hozam	t/ha	7
Főtermék/melléktermék arány	Fotermekek per Mellektermekek		1,28
Jármű és szállítási adatok			
Szállítójármű sebessége közúton	Szallitojarmu sebesseg kozuton	km/h	50
Szállítójármű sebessége táblán	Szallitojarmu sebesseg tablan	km/h	10
A kiszolgáló szállítójármű kapacitása	Szallitojarmu kapacitas	t	12
A kiszolgáló szállítójármű ürítési idő	Szallitojarmu uritesi ido	min	3
Járművek száma	ResourceCapacity		4
Tábla-raktár távolság	Tavolsag	km	30

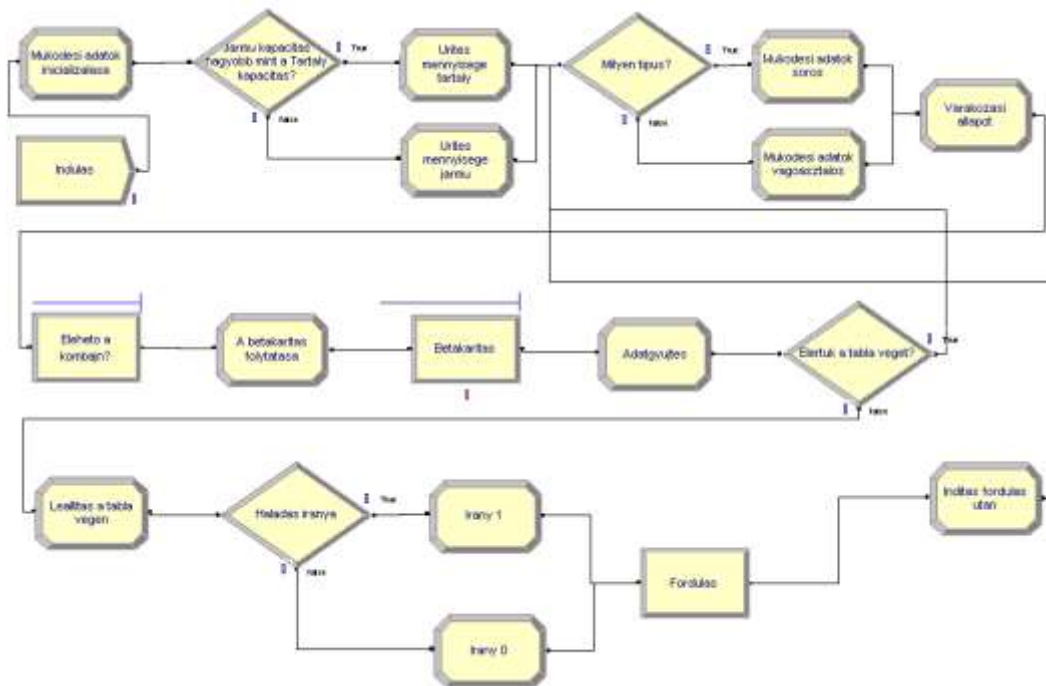
(Forrás: saját szerkesztés)

A cél a betakarítás modelljének kidolgozása és viselkedésének analízisa. A modellezés eredményeként, a következő kimenő paramétereket szeretnénk megismerni:

(1) A betakarítógép teljes munkaidőre vonatkoztatott tömegteljesítménye (t/h). (2) A betakarítógép teljes munkaidőre vonatkoztatott területteljesítménye (ha/h). (3) A teljes munkaidő alatt levágott terület nagysága (ha), és a betakarított mennyiség (t). (4) A betakarítógép átlagos gépterhelése (kg/s) az alapidőre vonatkoztatva. (5) A betakarítógép teljesítmény kihasználási tényezője a teljes munkaidőre vonatkoztatva. (6) A betakarítógép átlagsebessége az alapidőre vonatkoztatva. (7) A betakarítógép ürítések száma. (8) A betakarítási folyamatot jellemző alapidő (T_1), produktívidő (T_{01}), termelési idő (T_{02}), illetve ezek összetevői közül a fordulási idő (T_{21}), ürítési idő (T_{232}) és szervezési, valamint meghibásodási okok miatt jelentkező várakozási idő (T_4). (9) A betakarítógép állapotainak (*Működik*, *Várakozik*, *Fordul* és *Ürit*) gyakoriságai. (10) A szállítójárművek által megtett rakott és üres út egy járműre vonatkoztatva. (11) A szállítójárművek átlagsebessége a fordulási időre vonatkoztatva. (12) A szállítójármű fordulók száma. (13) A szállítójárművek átlagos várakozási ideje. (14) A szállítójárművek összes várakozási ideje egy járműre vonatkoztatva. (15) A szállítójárművek produktívideje egy járműre vonatkoztatva. (16) A szállítójárművek által elszállított összes mennyiség. (17) A szállítójárművek teljesítmény kihasználási tényezője a teljes munkaidőre vonatkoztatva. (18) A szállítójárművek állapotainak (*Szállít*, *Üresen mozog*, *Várakozik*, *Rakodik* és *Ürit*) gyakoriságai.

3.2. A probléma szimulációs modellje

A probléma leírása és tanulmányozása után az Arena szoftvert használva, építettük fel az egy-
menetes gabona betakarítási rendszer szimulációs modelljét. A modell öt szegmensből áll. A **Betakarítási folyamat** nevű szegmens a betakarító gép működését, a **Szállítójármű érkezése a táblához és mozgás a betakarítógéphez** nevű szegmens a járművek aktiválását, és mozgá-
tását a betakarítógéphez, a **Betakarítógép üritése és a szállítójármű töltése** nevű szegmens a
magtartály üritését, a szállítójármű megrakását és továbbítását a raktárhoz, a **Szállítójármű
érkezése és üritése a raktárnál** nevű szegmens a raktárhoz érkező szállítójármű üritését, és
visszaküldését a táblához, végül a **Betakarítógép mozgása** nevű szegmens a betakarítógép ani-
mációs mozgását modellezi. A modell szegmensek fejlesztésének részletes ismertetésétől elte-
kintünk, csupán a szegmensek funkcióinak és jellegzetességeinek bemutatására szorítkozunk.



1. ábra: Betakarítási folyamat nevű szegmens (Forrás: saját szerkesztés)

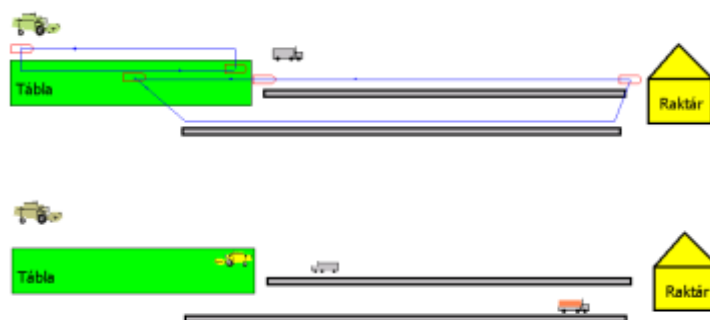
A modell felépítését a **betakarítási folyamattal** kezdjük. A betakarítási folyamatot szimuláló különböző funkciójú modulokat, az ún. modullogikát megjelenítő folyamatábrát az 1. ábra szemlélteti. (A korlátozott terjedelem miatt a további szegmensek folyamatábráinak bemutatásától eltekintünk.) A szegmensben a szállítójármű és a magtartály kapacitások ismeretében számítjuk az egyidejűleg üríthető mennyiséget. A vágószerkezet típustól függően, a sorok számából és a sortávolságból vagy a vágóasztal-szélességből meghatározzuk a munkaszélességet, majd a gépterhelés, a munkaszélesség, a hozam és a szem-szalma arány ismeretében kiszámítjuk a haladási sebességet. Az utóbbi azt jelenti, hogy változó hozam esetén a haladási sebességet úgy változtatjuk, hogy a gépterhelés állandó maradjon. A betakarítógép működését szükség esetén (magtartály telítődés, fordulás, meghibásodás, ürités, stb.) blokkoljuk. A szegmensben nyomon követjük a gép mozgását, figyeljük, hogy elértük-e a táblavégét, ha igen, akkor megváltoztatjuk a haladási irányt, azaz fordulást hajtunk végre.

A **szállítójármű érkezése a táblához és mozgás a betakarítógéphez** nevű szegmens aktiválja a járműveket, és azokat az aratócséplőgéphez mozgatja. A szegmensben a járművek számával egyenlő számú ún. járműentitást hozunk létre, amelyek a modellben cirkulálnak és szimulálják a járművek mozgását. Tekintettel arra, hogy a betakarítógépet egyidejűleg csak egy jármű szolgálhatja ki (ezt nevezzük aktívnak), a járművek modellezéséhez kétfajta erőforrást használunk.

Az egyik a járművek számával megegyező számú vagy kapacitású „*Jarmu*” nevű erőforrás. A másik pedig, az ún. „*Aktiv jarmu*” nevű fiktív erőforrás, amelynek a kapacitása 1. A modellben egy járműentitáshoz rendelt „*Aktiv jarmu*” erőforrás az aktívjármű megrakása után válik szabaddá a következő járműentitás számára. További korlátozást jelent, hogy a szállítójármű, pontosabban a járműentitás csak akkor indulhat a betakarítógéphez, ha a magtartály tartalma eléri az üríthető mennyiséget. A szegmensben a betakarítógép pillanatnyi helyzete alapján határozzuk meg a járművek várakozási helye (táblaszéle) és a betakarítógép közötti távolságot, valamint a távolság megtételéhez szükséges időt.

A betakarítógép ürítése és a szállítójármű töltése nevű szegmens a magtartály ürítését és a szállítójárművek töltését modellezi. Ha az aratócséplőgép magtartályának telítettségi szintje eléri az üríthető mennyiséget, akkor az előző szegmensben megszűnik a blokkolás és a táblaszélén várakozó járműhalmazból az aktívjármű elindulhat a betakarítógéphez. A szegmens opcionálisan támogatja menet közbeni és az állóhelyben történő ürítést is. A ciklikusan kiválasztott jármű az aratócséplőgéphez közelít, majd elérve azt, megkezdődik az ürítés, amelynek az időtartama a kombájn ürítő szerkezetének kapacitásától függ. (Az ürítő szerkezet kapacitását általában úgy tervezik, hogy a magtartályt 2 perc alatt teljesen kiürítse.) A szállítójármű akkor hagyja el a táblát, ha teljesen feltöltődött, ami a magtartály kapacitásától függően egy vagy több ürítés után következik be. Ha egy ürítés nem telíti a járművet, akkor a jármű addig várakozik a táblán, amíg a hiányzó mennyiséget az aratócséplőgép levágja és kicsépele. Végül a megrakott jármű a tárolóhoz indul.

A szállítójármű érkezése és ürítése a raktárnál nevű szegmens modellezi a szállítójármű érkezését a raktárhoz és az ezt követő ürítését. Az üres járműveket (járműentitásokat) visszaküldjük a táblához, így azok elérhetők a következő igénybevételhez.



2. ábra: A betakarítási folyamat animációjának terve és pillanatfelvétele a futás alatt (Forrás: saját szerkesztés)

Végül a **betakarítógép mozgása** nevű szegmens a betakarítógép animációs mozgását modellezi. Erre a szegmensre csak azért van szükség, hogy a modellben az erőforrásként definiált aratócséplőgép mozgását animálni lehessen a szimulációban. A probléma forrása, hogy az aratócséplőgép egy mozgó erőforrás, és az Arena közvetlen nem támogatja az erőforrások mozgását.

Az animációhoz először az ún. Entity Picture eszköztárban rendelkezésre álló eszközök segítségével megterveztük a betakarítógépet és a járműveket szimbolizáló képeket, és ezeket hozzárendeltük a betakarítógép, illetve a járműentitáshoz. Ezt követően a modellablakban megszerkesztettük a betakarítógép és a járművek mozgáspályáit (2. ábra). A leírtak szerint szerkesztett animáció futása alatti pillanatfelvétele a 2. ábra alsó részén látható.

3.3. A modell változói és statisztikái

A modellben a betakarítógéphez, a táblához és a járművekhez tartozó inputváltozókat már korábban összefoglaltuk az 1. táblázatban. Az adatok bevitelére és változtatására szolgáló űrlap a 3. ábrán látható. A modell logika felépítésekor definiált output és az egyéb célokat szolgáló számított változók egyrészt az aratócséplőgép és a szállítójárművek mozgását (sebesség, idő, út), teljesítményét (betakarított, ürített, vagy szállított mennyiségek), másrészt az erőforrások működését jellemző események (működés, ürítés, fordulás, várakozás, stb.) időtartamait reprezentáló adatok.

A modell **Statistic** adatmoduljában 33 db statisztikát definiáltunk. Ezek a statisztikák a modellezés célkitűzéseinél megfogalmazott kérdésekre adnak válaszokat. A modul egyebek mellett *Time-Persistent* típusú statisztikákat tartalmaz: („Betakaritogep atlagsebesseg a produktiv idore km per ora”, „Betakaritogep atlagos gepterheles az alapidore kg per sec”, „Szallitojarmu atlagsebesseg km per ora”, „Szallitojarmu atlagos varakozasi ido ora”, „Betakaritogep atlagos varakozasi ido sec”, „Betakaritogep atlagsebesseg az alapidore km per ora”, „Szallitojarmu fordulasi ido ora”). E statisztikák kimenetei 95%-os megbízhatósági szinten tartalmazzák a modell futása alatt megfigyelt átlagos, a minimális és maximális értékeket.

A modul *Frequency* típusú statisztikái („Betakaritogep allapotai” és a „Szallitojarmu allapotai” nevű statisztikák) a betakarítási és a szállítási folyamatok állapotainak a valószínűségét mérik. A betakarítógépnél gyakorlatilag a „Mukodik” (*Busy*), a „Varakozik” (*Idle*), a „Fordul” és az „Urit” állapotok gyakoriságát. A szállítójármű lehetséges állapotai: „Szallit”, „Uresen_mozog”, „Rakodik”, „Varakozik”.

Adatfaj: Eredeti Arena adatok	
Az aratócséplőgép adatai	
Áteresztőképesség (kg/s)	18.7
Vágószerszög típusa	Vágószerszög
Vágószerszög szélesség (m)	7.5
Sortírló (m)	60
Sorok száma	8
Magtartály kapacitása (t)	8
Ürítési kapacitás (t/min)	4
Ürítési mód	Menetközben
Fordulási idő a tábla végén (min)	2
A tábla adatai	
Terméskategória (t/ha)	7
Tábla hossza (m)	500
Főtermék/melléktermék arány	1.28
A szállítás adatai	
Szállítójármű sebesség iszonyon (km/h)	50
Szállítójármű sebesség táblán (km/h)	10
Szállítójármű kapacitás (t)	12
Szállítójármű ürítési idő (min)	3
Szállítójárművek száma	4
Tábla-raktár távolság (km)	30

Adatbevitel Adatmentés Szimuláció Leállítás

3. ábra: A modell input adatainak bevitelére szolgáló űrlap (Forrás: saját szerkesztés)

Az *Output* típusú statisztikák a betakarítógép és a szállítójárművek teljesítményét, mozgását, a működés időelemeit (működik, fordul, ürít, várakozik, stb.) jellemző adatok, amelyek jelentésére vagy tartalmára a megnevezésükből következtethetünk (4. ábra).

3.4. A szimuláció kimenetei

A 24 óra időtartamú szimulációs futás felhasználó által definiált statisztikáit a 4. ábra szemlélteti. Az egyenletes gabona betakarítás modelljének működését jellemző eredményekből hasznos, a gyakorlat szempontjából fontos következtetések vonhatók le.

A *Time Persistent* szekcióban a „Betakaritogep atlagos gepterheles az alapidore kg per sec” átlagos értéke 18,7 kg/s, ami értelemszerűen megegyezik a John Deere 9780 CTS típusú aratócséplőgép áteresztőképességével, mivel a modellben az állandó gépterhelést a haladási sebesség változtatása biztosítja. Az alapidőre (7,1 km/h) és a produktívidőre (4,54 km/h) számított átlag-

sebességeket összehasonlítva következtethetünk a cséplőszerkezet működését blokkoló események (magtartály telítődés, fordulás, meghibásodás, ürítés, stb.) időtartamára. A szekció további adatai a szállítójárművek átlagos várakozási idejéről, átlagsebességéről és fordulási idejéről közölnek információkat.

15:45:14

Category Overview

május 2, 2013

Gabonakombájn állandó terheléssel

Replications: 1

Time Units: Hours

User Specified

Time Persistent

Time Persistent	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Betakarógép átlagos gépterhelés az alapidőre kg per sec	16.7000	(Insufficient)	0.00	16.7000
Betakarógép átlagos várakozási idő sec	0.2587	(Insufficient)	0.00	522.62
Betakarógép átlagsebesség a produktív időre km per ora	4.5382	(Insufficient)	0.00	4.8209
Betakarógép átlagsebesség az alapidőre km per ora	7.1041	(Insufficient)	0.00	7.1041
Szállítójármű átlagos várakozási idő ora	0.05512396	(Insufficient)	0.00	1.2102
Szállítójármű átlagsebesség km per ora	36.8132	(Insufficient)	0.00	48.8585
Szállítójármű fordulási idő ora	1.4854	(Insufficient)	0.00	2.1641

Output

Output	Value
Betakarógép alapító ora	14.7802
Betakarógép fordulók száma	210.00
Betakarógép összes fordulási idő ora	7.0000
Betakarógép összes munkaidő ora	24.0000
Betakarógép összes ürítés járműre tonna	552.00
Betakarógép összes ürítési idő járműre ora	2.3000
Betakarógép összes út km	105.00
Betakarógép összes várakozási idő ora	2.2015
Betakarógép produktív idő ora	21.7802
Betakarógép teljesítmény kihasználási tényező a teljes munkaidőben	0.6166
Betakarógép termelési idő ora	23.9818
Betakarógép területteljesítmény ha per ora	3.3250
Betakarógép termelteljesítmény tonna per ora	23.3033
Betakarógép ürítésszám	92.0000
Betakarógép ürítés mennyiség tonna	552.00
Betakarógép terület ha	79.6000
Szállítójármű fordulók száma	46.0000
Szállítójármű összes elszállított mennyiség tonna	552.00
Szállítójármű összes rakott mennyiség ora per jármű	9.2000
Szállítójármű összes rakott út km per jármű	463.74
Szállítójármű összes ürítés mennyiség ora per jármű	8.9744
Szállítójármű összes ürítés út km per jármű	433.74
Szállítójármű összes várakozási idő ora per jármű	0.7948
Szállítójármű produktív idő ora per jármű	23.4810

15:49:00

Frequencies

május 02, 2013

Gabonakombájn állandó terheléssel

Replications: 1

Replication 1	Start Time:	0.00	Stop Time:	24.00	Time Units:	Hours
Betakarógép állapotai						
	Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent		
Fordul	210	0.03303484	28.91	28.91		
Munkaidő	251	0.05920784	61.92	61.92		
Várakozás	40	0.05503791	9.17	9.17		
Szállítójármű állapotai						
	Number Obs	Average Time	Standard Percent	Restricted Percent		
Száll	54	0.0968	21.77	21.77		
Üresen mozog	54	0.0926	20.84	20.84		
Ürít	45	0.04849701	9.09	9.09		
Várakozás	47	0.2466	48.29	48.29		

4. ábra: A modell futásának eredményei (Forrás: saját szerkesztés)

Az *Output* szekcióban az aratócséplőgép és a szállítójárművek működésére vonatkozó időelemek jelennek meg. A „*Betakarítógép összes munkaidő óra*” megegyezik a szimulációs idővel (24 óra). Az összes munkaidőhöz viszonyítva az alapidő 61,58 %, a produktív idő 90,75 %. Az előbbi lényegesen jobb érték az 1. táblázatban közölt, méréssel meghatározott eredménynél. A szimulációval számított alapidő kedvezőbb alakulása az állandó dobterhelésnek, illetve a sebességszabályozásnak köszönhető. Az input adatok által meghatározott feltételek (természtáblahosszúság, stb.) esetén a betakarítógép teljes munkaidőre számított kihasználási tényezője 61,66%, területteljesítménye 3,33 ha/h, tömegteljesítménye 23,3 t/h, összes várakozási ideje 2,2 h. A riportban információk találhatók az alapidő alatt végzett, a munka folyamatosságát biztosító melléktevékenységek mennyiségéről és ezek időtartamáról, például a fordulások számáról, az összes fordulási időről, az ürítések számáról és az összes ürítési időről.

Az *Output* szekció második felében olvasható adatok a szállítójárművek működéséről adnak képet, a fordulók számáról, az összes elszállított gabona mennyiségről, az egy járműre eső rakott menetidőről, rakott útról, a várakozási időről, és a járművek produktív idejéről.

A *Frequencies* statisztikák a betakarítógép fordul, működik és várakozik állapotairól, a megfigyelések számáról és az állapotok átlagos időtartamáról, valamint ezek egymáshoz viszonyított arányáról tájékoztatnak. Hasonló statisztikákat olvashatunk a szállítójárművekről is, amelyek lehetséges állapotai: szállít, üresen mozog, ürít és várakozik.

4. Összefoglalás

Egy szimulációs futáshoz tartozó eredmények a szakemberek számára önmagukban is értékelhető, hasznos információkat tartalmaznak. Azonban további lehetőséggel kecsegtet, a különböző input adatsorokhoz tartozó futások eredményeinek az összehasonlítása. Például, ha szeretnénk meghatározni adott betakarítási szituációhoz (terméshozam, táblaméret, járműkapacitás, szállítási távolság, stb.) az optimális járműszámot, akkor nem kell mást tenni, mint különböző járműszámokkal futtatni a modellt, majd a betakarítógépre és a szállítójárművekre kapott statisztikákat összehasonlítani. Világos, hogy a járműszám növelés javítja a betakarítógép kihasználását, a járműveket pedig rontja. A futási eredmények ismeretében, kompromisszumot kötve, egyszerűen dönthetünk a járművek optimális számáról. A teljesség igénye nélkül elmondható, hogy a modell alkalmas lehet a táblaméret, a vágóasztal szélesség, magtartály kapacitás, a járműkapacitás, stb. optimumának a meghatározása is.

Irodalomjegyzék:

1. Arena Professional Reference Guide, Rockwell Software Inc., 2000.
2. Benkő J.: A termény betakarítás és szállítás modellezése az Arena szimulátorral. Logisztikai évkönyv 2006 (Szerk.: Szegedi Z.), Magyar Logisztikai Egyesület, Budapest, 2006. 125-133 p.
3. Benkő J.: Logisztikai folyamatok szimulációja. LOKA, Gödöllő, 2012.
4. Jován D.-Soós P.-Sörös I.: Arató-cséplő gépek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1980.
5. Kelton, W. D., R. P. Sadowski, and D. T. Sturrock.: Simulation with Arena. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
6. Komlódi I.: John Deere 9780 CTS arató-cséplő gép. Mezőgazdasági gépvizsgálati értesítő, FVM Műszaki Intézet, Teszt Nr. 71/2001, Gödöllő, 2001.

Modelling Grain Harvesting with Simulation

Summary

Because of the characteristics of the agricultural production the harvesting machines, as resources work other manner than the industrial resources. In the industry the resources of the production systems are localized, to which we move materials, work-pieces that waiting for shaping. On the other hand in the plant cultivation, it is inversely, we move the machines which have mobility to the field that is the object of the work, or rather to the plants cultivated on it. Additional characteristic of the harvest processes is that the harvested produce has to be transported immediately from the field. According to this in the simulation the harvest and the transport are not unlinked, because one of goal of the simulation is often to create operation harmony of harvesting machine and transport vehicles. The study presents the simulation model of the grain harvesting and transport, the construction and function of the module logic and the expected results of the simulation running.